Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 663-679

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 679-663

استفاده از خواص مکانیکی خمیر در پیشگویی رئولوژی خمیر، جنبه‌های کیفی، حسی، ماندگاری و ریزساختار نان: بررسی با روش‌های چند متغیره متقارن و نامتقارن

امیر پورفرزاد[*1]- مهدی کریمی[2]- زهرا احمدیان [3]- سودیه هجری ظریفی[4]- سیامک غیبی[1].

تاریخ دریافت: 1394/12/04
تاریخ پذیرش: 1395/02/04

چکیده

خواص مکانیکی خمیر نقش مهمی در صنایع پخت ایفا می‌کنند و در مواردی از قبیل تثبیت افزودنی‌ها و مطالعه تاثیر آنها بر سایر خواص خمیر و نان می‌توانند مورد توجه واقع شوند. در این پژوهش، از روش‌های چندمتغیره متقارن (تعیین ضرایب همبستگی و آنالیز مولفه‌های اصلی) و نامتقارن (سطح پاسخ و رگرسیون حداقل مربعات جزئی) به‌منظور مطالعه تاثیر اجزاء ژل بهبوددهنده بر خواص مکانیکی خمیر نان بربری، ارتباط خواص مکانیکی خمیر با سایر خواص خمیر و نان و نیز بهینه‌سازی فرمول ژل استفاده گردید. نمونه‌های ژل بهبوددهنده، محتوی 0 تا 0/5 g/100g سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول بودند. نتایج نشان داد که با توجه به تغییر مقدار و نوع اجزاء فرمولاسیون ژل، دامنه وسیعی از تغییرات در خواص مکانیکی خمیر ایجاد می‌شود و از اختلاط 0/5 g/100g سدیم استئاروئیل لاکتیلات، 0/5 g/100g داتم و 0/5 g/100g پروپیلن گلیکول بهترین حالت حاصل می‌گردد. ضرایب همبستگی بین خواص مکانیکی خمیر با خصوصیات فارینوگرافی خمیر، کیفیت، جنبه‌های حسی، پردازش تصویر و ماندگاری نان بررسی گردید. همچنین آنالیز مولفه‌های اصلی ثابت نمود که قادر به استخراج اطلاعات مناسبی است و می‌تواند به‌عنوان یک روش آسان برای تحلیل و تفسیر خواص مکانیکی خمیر و ارتباط آنها با سایر خواص خمیر و نان مورد استفاده قرار گیرد. مدل‌های رگرسیونی حداقل مربعات جزئی نیز برای تعیین ارتباط بین خصوصیات مکانیکی خمیر با خصوصیات فارینوگرافی خمیر، خصوصیات کیفی، حسی، پردازش تصویر و ماندگاری نان به‌کار برده شد. نتایج حاصل از آنالیزهای آماری نشان داد که خصوصیات مکانیکی خمیر، قادر به پیشگویی حداقل 50% از خصوصیات خمیر و نان هستند.

واژه‌های کلیدی: بافت‌سنجی خمیر، رگرسیون حداقل مربعات جزئی.

مقدمه

نان عمدتاً به‌عنوان یک منبع انرژی ارزان قیمت به‌مصرف می‌رسد و غذای اصلی مردم بسیاری از کشورهای جهان را تشکیل می‌دهد. بنابراین، در علم غلات برای بهبود خصوصیات خمیر، افزایش کیفیت و ماندگاری نان، رقابت بزرگی وجود دارد. برای رسیدن به این هدف، باید از افزودنی‌های غذایی کاربردی و مواد کمک فرایند که باعث بهبود کیفیت خمیر و نان می‌شوند، استفاده کرد (Rosell *et al.* 2001).

امولسیفایرها متعلق به ترکیبات فعال سطحی یا سورفاکتانتها هستند که هم خصوصیات مواد هیدروفیل و هم مواد لیپوفیل را دارند. کشش سطحی بین دو فاز مخلوط ناشدنی، توسط امولسیفایرها کاهش یافته و بنابراین دو مایع قادر خواهند بود تا امولسیون تشکیل بدهند. در صنعت نان خصوصیات گسترده‌ای از امولسیفایرها انتظار می‌رود از جمله افزایش ماندگاری، افزایش تردی و بهبود طعم، بهبود حجم، ایجاد و یکنواختی بافت (Kamel *et al.* 1993; Knightly 1981; Potgieter 1992). یکی از فاکتورهای موثر بر کارایی امولسیفایر، حالت فیزیکی آن است. امولسیفایرها به فرم آلفا، بهترین تاثیر را در حفظ حباب‌های هوا، سرعت مخلوط کردن و یکنواختی خمیر دارند (Howard 1972; Silva 2000). زمانی که امولسیفایر با ساختار کریستالی بتا در آب حرارت داده شود، یک فاز لایه‌ای تشکیل می‌شود. بنابراین، این لایه‌های انعطاف‌پذیر می‌توانند به آسانی سطح حباب‌ها را پوشش داده و یک فیلم پایدارکننده ایجاد کنند. در فرآیند پخت، دراثر گرما، حباب‌های هوا منبسط شده و حجم آنها افزایش می‌یابد. همچنین به علت ایجاد کانال‌های مشترک بین آنها، حباب‌ها به یکدیگر چسبیده و بزرگتر می شوند (Krog *et al.* 1997). گروه

1- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
2- دانشیار، عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.
3- دانش‌آموخته دکتری، گروه فرآوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد.
4- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تغذیه، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد.
(* - نویسنده مسئول: Email: amir.pourfarzad@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.53614

دیگری از مواد افزودنی که بـه‌طـور گسـترده‌ای در صـنایع غـذایی و به‌خصوص در صنعت نانوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، پلی‌ال‌ها یا هموکتانت‌ها هستند. پلی‌ال‌هـا از طریـق هیدروژناسـیون کاتالیتیـک قندهای مختلف حاصل می‌شوند. پلی‌ال‌ها فعالیت آبی را کاهش داده و احساس دهانی را بهبـود مـی‌بخشـند (Gliemmo *et al.* 2006; Lombard *et al.* 2000).

مخلـوط کـردن آب و آرد گنـدم منجـر بـه ایجـاد مـاده‌ای ویسکولاستیک (خمیر) می‌گردد کـه خـواص فیزیکـی آن وابسـتگی زیادی به بسیاری از فاکتورها و نیز تاثیر زیادی بـر خـواص ماشـینی خمیر و کیفیت محصول دارد (Navickis *et al.* 1982). کیفیت آرد، فرآیند تولید نان و برخی اجـزا از قبیـل افزودنـی‌هـا، عوامـل اصـلی تعیـین‌کننـده عملکـرد خمیـر هسـتند. آزمـون‌هـای تقلیـدی سـنتی (فارینوگراف، آلویوگراف، اکستنسوگراف و آمیلوگراف) بـرای محاسـبه پارامترهای تولید نان طراحی شده‌انـد و اجـازه مـی‌دهنـد تـا کیفیـت محصول نهایی از طریق تقلید مراحل تولید نان (مخلوط کردن، تخمیر و پخت) اما با همبستگی تجربی محدودی پیش‌بینی گردد (Dreese *et al.* 1988). این آزمون‌ها برخـی خـواص فیزیکـی مهـم از قبیـل چسبندگی خمیر را در نظر نمی‌گیرند در حالی که تـاثیر عمـده‌ای بـر راحتی کار با خمیر توسط تجهیـزات جابجـایی در واحـدهای بـزرگ صنعتی دارند (Martin *et al.* 1991). در مطالعات مختلفی از دستگاه بافت‌سنج برای ارزیابی بافت خمیر استفاده شده است. در برخی موارد، به همبستگی با اجزاء گلوتن و در برخی دیگـر بـه تـاثیر پارامترهـای بافت خمیر بر کیفیت نان تولیدی اشاره شده است (Armero *et al.* 1997; Ram *et al.* 1983). اغلـب مطالعـات بافـت‌سـنجی خمیـر به‌منظور ارزیابی چسبندگی بوده‌اند؛ هـر چنـد ایـن پـارامتر، متـاثر از ویسکوالاستیسیته و پیوستگی بوده است (Dhaliwal *et al.* 1990a). ارتباط بین رفتار چسبندگی و خواص رئولوژیکی دینامیکی نیز بررسی شده است (Heddleson *et al.* 1993). پورفرزاد و همکاران (1390) از یک روش جدید در اندازه‌گیری چسبندگی و برای به حداقل رساندن تداخل سایر خواص فیزیکی خمیر استفاده نمودند.

محققان مختلفی ارتباط و همبسـتگی بـین خصوصـیات کیفـی، حسـی، مکـانیکی و پـردازش تصـویر نـان را بررسـی نمـوده‌انـد (Angioloni *et al.* 2011; Pourfarzad *et al.* 2012; Zghal *et al.* 2002). انجام اغلب این آزمون‌ها هزینه‌بـر، وقـت‌گیـر و قابلیـت تکرارپذیری پائینی دارند. در هیچ‌کدام از ایـن پـژوهش‌هـا از خـواص مکانیکی خمیر به‌عنوان عاملی برای پیشگویی سایر خصوصیات خمیر و نان استفاده نشده است. در این راستا، ایـن پـژوهش بـا اسـتفاده از روش سطح پاسخ و با هدف بررسی تاثیر اجزای ژل بهبوددهنـده بـر پارامترهای بافتی خمیر طراحی گردید. در گام بعدی، ارتباط بین ایـن پارامترها با خصوصیات بدست آمده از آزمون‌های فارینوگرافی خمیـر، کیفیت و ماندگاری نان، ارزیابی حسی و پردازش تصویر نان با استفاده از روش‌های چندمتغیره متقارن (تعیـین ضـرایب همبسـتگی و آنـالیز مولفه‌های اصلی) و نامتقارن (رگرسیون حداقل مربعات جزئـی) مـورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان نیز بـا اسـتفاده از نتـایج بدسـت آمـده، بهینه‌یابی درصد امولسیفایرهای سدیم استئاروئیل لاکتیلات و داتم و پلی‌ال پروپیلن گلیکول برای تولیـد ژلـی مناسـب بـه‌منظـور بهبـود خصوصیات خمیر نان بربری، انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مواد

آرد ستاره از کارخانه آرد گلمکان تهیه شد. امولسیفایرهای سدیم استئاروئیل لاکتیلات (SSL) و داتـم از شـرکت ویسـتا تجـارت پایـا (تهران، ایران) تهیه گردید. پلی‌ال مـورد اسـتفاده، پـروپیلن گلیکـول (PG) بود که از شرکت شیمیایی قائم (تهران، ایران) تهیه شد. سـایر مواد مورد استفاده در آزمایشات از شرکت‌های معتبر خریداری گردید.

روش‌ها

خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد گندم و نان

ترکیبات شیمیایی آرد ستاره و نیز مقدار رطوبت نان، بـر اسـاس روش‌های استاندارد (AACC 2000) اندازه‌گیری شد.

آماده‌سازی ژل‌های بهبوددهنده

ژل ها با استفاده از امولسیفایر، آب و پلی‌ال به نسبت‌های 1:4:1 آماده شدند. در ابتدا، مخلـوط آمـاده گردیـد و سـپس تحـت شـرایط همزدن مداوم، مخلوط تا دمای 60 درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. سپس در اثر سرد کردن، ژل‌ها تشکیل شدند.

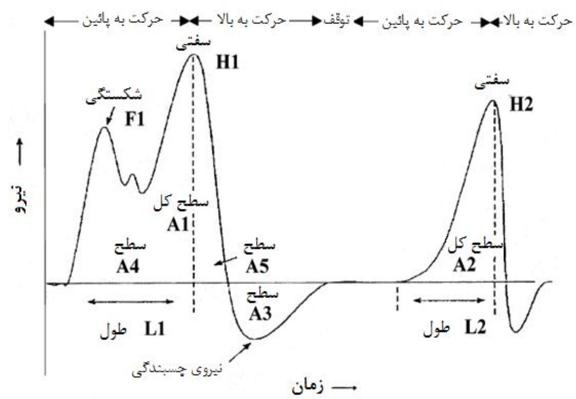
تولید خمیر و نان

نان مورد بررسی در این تحقیق نان بربری بود که مراحل تولیـد خمیر آن بدین صورت می‌باشد: مخلوط نان با 100% آرد گنـدم، 1% مخمر خشک، 2% نمک، 1% شکر، 1% شورتنینگ و آب (مقـدار لازم برای رسیدن به 400 واحـد برابنـدر) تهیـه گردیـد (Maleki *et al.* 1981). ژل امولسیفایر، قبل از اضافه کردن آب، با کلیه اجزا مخلـوط می‌گردد. پس از مخلوط کردن اجزا به مدت 15 دقیقه و با دور ثابت، خمیر مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، تخمیر اولیه (60 دقیقه در دمای 30 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسـبی 75 تـا 85%) و در ادامـه چانـه کردن (خمیر بـه چانـه‌هـای بـا وزن 200 گـرم تقسـیم‌بنـدی شـد)، شکل‌دهی و پانچ کردن انجام شد. در مرحله بعد چانـه‌هـای حاصـل تخمیر ثانویه را به مدت 20 دقیقه و در دمای 42 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 75 تا 85% سپری کردند و آخرین مرحلـه، پخـت (13

دقیقه در 260 درجه سانتی‌گراد) بود. پس از پخت، نمونه‌های نان در دمای محیط و زیر اتاق تمیز، سرد و بسته‌بندی گردیدند تا از آلودگی ثانویه جلوگیری شود و آزمایشات بعدی روی آنها انجام گردد.

تعیین خصوصیات مکانیکی خمیر

برای تعیین خصوصیات مکانیکی خمیر، بافت خمیر با استفاده از دستگاه بافت‌سنج مورد آنالیز قرار گرفت. جهت انجام این آزمون از روش Armero و همکاران (1997) استفاده گردید. برای آنالیز بافت خمیر، از روش دو مرحله‌ای آنالیز پروفایل بافت (TPA)، پروبی با قطر 5 سانتی‌متر و سل اعمال نیروی 5 کیلوگرمی استفاده گردید. قطعه‌ای 30 گرمی از خمیر در زیر پروب قرار گرفت و سرعت حرکت پروب 1 میلی‌متر در ثانیه، فاصله زمانی بین دو مرحله 75 ثانیه و میزان نفوذ 60% لحاظ گردید. خصوصیات بافتی اصلی در غیاب چسبندگی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور یک پوشش پلاستیکی بر روی خمیر قرار داده شد تا پیک منفی حاصل از چسبیدن خمیر به پروب حذف گردد. آنالیز نمودار بافت حاصل از خمیر پارامترهایی به ما می‌دهد که در بررسی خصوصیات خمیر موثر خواهند بود (شکل شماره 1). این پارامترها شامل موارد زیر می‌باشد: رزیلینس[1]:A_5/A_4؛ ارتجاعیت[2]:L_2/L_1؛ پیوستگی[3]:A_2/A_1؛ سفتی[4]:H_1؛ صمغیت[5]:$H_1\times(A_2/A_1)$؛ قابلیت جویدن[6]: $H_1\times(A_2/A_1)\times(L_2/L_1)$؛ چسبندگی[7]:$A_3$. برای ارزیابی چسبندگی، به‌طور جداگانه آزمون بدون قرار دادن پوشش پلاستیکی انجام شد.



شکل 1- پارامترهای مکانیکی در بافت‌سنجی خمیر.

1 Resilience
2 Springiness
3 Cohesiveness
4 Hardness
5 Gumminess
6 Chewiness
7 Adhesiveness

آزمون خصوصیات فارینوگرافی خمیر

آزمون فارینوگرافی بر اساس روش مصوب 21-54 (AACC 2000) و توسط دستگاه فارینوگراف برابندر انجام پذیرفت. پارامترهای جذب آب آرد (درصد)، زمان گسترش خمیر (دقیقه)، مقاومت خمیر (دقیقه) و شاخص تحمل (BU) از روی منحنی فارینوگرام محاسبه گردید.

اندازه‌گیری حجم مخصوص نان

حجم مخصوص نمونه‌های نان بر اساس روش جایگزینی دانه کلزا تعیین شد (Bárcenas *et al.* 2006).

ارزیابی بافت نان

آزمون بافت‌سنجی با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (CNS, Farnell, Hertfordshire, UK) و روش پورفرزاد و همکاران (2011) مورد ارزیابی قرار گرفت. حداکثر نیروی مورد نیاز برای نفوذ یک پروب سیلندری شکل با ابعاد 2/5 سانتی‌متر قطر و 1/8 سانتی‌متر ارتفاع با سرعت 30 میلی‌متر در دقیقه به داخل قطعه مربعی شکل 10 سانتی‌متر در 10 سانتی‌متری بریده شده از مرکز نان، به‌عنوان شاخص سفتی نان محاسبه گردید. نقطه شروع[8] و نقطه هدف[9] به‌ترتیب 0/05 نیوتن و 30 میلی‌متر بود.

پردازش تصویر نان

برای ارزیابی رنگ پوسته، نمونه‌های نان با اسکنر، اسکن و با فرمت JPEG ذخیره شدند. تصویرگیری با نرم‌افزار فوتو اسمارت (نسخه 3/5) و رزولوشن 180 dpi انجام شد. سپس توسط نرم‌افزار ایمیج جی (نسخه 1/4)، قطعات 500 در 500 پیکسلی از مرکز نان بریده شده و از فضای رنگی RGB به Lab تبدیل و در ادامه، فاکتورهای L^*، a^* و b^* محاسبه گردید. برای بررسی سایر خصوصیات مغز نان، فرآیند آستانه‌سازی در سطح 200 و در حالت سیاه و سفید اعمال و زمینه حذف شد. پس از آنالیز اجزا، پارامترهای اندازه حفرات (نسبت تعداد حفرات به سطح کل حفرات)، دانسیته سلولی (نسبت تعداد حفرات به سطح کل تصویر) و تخلخل (نسبت سطح کل حفرات به سطح کل تصویر) بدست آمد (پورفرزاد و همکاران، 1392).

آزمون خصوصیات حسی نان

آزمون حسی با استفاده از روش پیشنهادی رجب‌زاده (1991) انجام شد. خصوصیات حسی نان از نظر فرم و شکل، خصوصیات سطح بالایی، خصوصیات سطح پائینی، پوکی و تخلخل، سفتی و

8 Trigger point
9 Target Value

نرمی بافت، قابلیت جویدن، بو، طعم و مزه توسط 10 پانلسیت آموزش دیده مورد ارزیابی قرار گرفت. ضریب ارزیابی صفات نیز از بسیار بد (1) تا بسیار خوب (5) بود. پس از لحاظ نمودن ضرایب رتبه هر یک از ویژگی‌ها، پذیرش کلی نیز تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری و بهینه‌سازی

در این پژوهش به‌منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید ژل بهبوددهنده از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر[1] برای سه جزء ژل شامل سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول با حدود مشخص بالا و پائین استفاده شد. سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه در جدول 1 ذکر شده‌اند. برای طراحی آزمایش، آنالیز نتایج و بهینه‌سازی از نرم‌افزار Design-Expert (نسخه 6) استفاده شد.

جدول1- سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه

متغیر مستقل (g/100g)	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه				
		+1/6818	+1	0	-1	-1/6818
سدیم استئاروئیل لاکتیلات	SSL	0/63	0/50	0/31	0/13	0
داتم	DATEM	0/63	0/50	0/31	0/13	0
پروپیلن گلیکول	PG	0/63	0/50	0/31	0/13	0

بدین منظور معادلات ریاضی درجه دوم کامل با استفاده از آنالیز رگرسیون گام به گام پس رونده[2] بر روی متغیرهای وابسته برازش شدند. برای نشان دادن رابطه هر یک از متغیرهای وابسته در مدل رگرسیون با متغیرهای مستقل، نمودار سطوح[3] آنها به وسیله این نرم افزار ترسیم شدند. به منظور ارزیابی صحت مدل های برازش داده شده، آزمون ضعف برازش[4]، ضریب تغییرات[5]، مقادیر R^2، R^2 (adj)، مجموع مربع های خطای پیش بینی[6] و p ضرایب تعیین شدند. تایید تایید کارایی بهترین فرمول ارائه شده توسط مدل نیز از طریق مقایسه نتایج حاصل از تولید آن با نتایج پیشگویی شده توسط مدل مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز مولفه‌های اصلی و تعیین ضرایب همبستگی و نیز رگرسیون حداقل مربعات جزئی[7] بر روی داده‌های خواص مکانیکی خمیر و نیز نتایج حاصل از آزمون‌های فارینوگرافی خمیر، حسی، کیفی و ماندگاری نان، توسط نرم‌افزار Minitab نسخه 16 انجام گرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات کیفی آرد

رطوبت، پروتئین، خاکستر، چربی، گلوتن مرطوب، درجه استخراج و عدد فالینگ آرد گندم مورد استفاده به‌ترتیب برابر با 10/52 گرم در 100 گرم، 10/8 گرم در 100 گرم، 0/79 گرم در 100 گرم، 1/76 گرم در 100 گرم، 26/7 گرم در 100 گرم، 82 گرم در 100 گرم و 407 ثانیه بود. این نتایج نشان می‌دهد که خصوصیات آرد گندم در محدوده آردهای متوسط تا قوی است که برای نان‌های مسطح ایرانی مناسب می‌باشد.

آنالیز بافت خمیر

در جدول 2، آنالیز واریانس خصوصیات مکانیکی خمیر ملاحظه می‌گردد. جدول 3 نیز معادلات مناسب برای پیشگویی این خصوصیات را نشان می‌دهد. روند تغییر خواص مکانیکی خمیر با توجه به اجزاء فرمول و به‌صورت نمودار رویه پاسخ در شکل 2 مشاهده می‌شود.

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول موجب کاهش معنی‌دار ($p≤0/001$) سفتی خمیر شده است. Krog (1981) این امر را به تشکیل پوشش‌های مایع با ساختاری صفحه‌ای بین گلوتن و نشاسته توسط امولسیفایرها نسبت داد که موجب افزایش سیالیت و نرمی خمیر می‌گردند.

همچنین Suhendro و همکاران (1995) نشان دادند که با افزایش پروپیلن گلیکول، خمیر نرم‌تر و انعطاف‌پذیرتر می‌گردد. بررسی تغییرات این شاخص نشان می‌دهد که معادله حاصل از R2 و R2 Adj)) بالا و بسیار معنی‌داری ($p≤0/001$) برای پیشگویی آن برخوردار است. آزمون ضعف برازش آن بی معنی ($p≤0/05$)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد که نشان‌دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده است. بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه اول و درجه دوم ($p≤0/001$) بر سفتی خمیر موثر هستند و با توجه به جدول 3، مشخص می شود که مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات، مجذور داتم و برهم کنش داتم و پروپیلن گلیکول بر خلاف سایر پارامترهای موثر بر سفتی خمیر، به‌طور معنی‌داری آن را افزایش می‌دهند. داتم بیشترین اثر کاهشی و مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشترین

1 Central composite rotatable design (CCRD)
2 Backward multiple stepwise regression
3 Surface Plot
4 Lack of fit
5 Coefficient of Variation (CV)
6 Prediction error sum of squares (PRESS)
7 Partial Least Squares Regression Analysis (PLSR)

اثر افزایشی را بر این شاخص دارد.

جدول 2- آنالیز واریانس خصوصیات مکانیکی خمیر

منبع	درجه آزادی	سفتی: مجموع مربعات	سفتی: احتمال F	پیوستگی: مجموع مربعات	پیوستگی: احتمال F	رزیلینس: مجموع مربعات	رزیلینس: احتمال F	ارتجاعیت: مجموع مربعات	ارتجاعیت: احتمال F
میانگین	1	111/20		4/83		0/24		785/46	
خطی	3	0/46	0/0002	0/02	0/0001	0	0/3917	2/58	0/5
بر هم کنش	3	0/06	0/1955	0	0/1881	0	0/8887	1/44	0/7486
درجه دوم	3	0/14	<0/0001	0	<0/0001	0	0/0083	2/81	0/5458
درجه سه	5	0	0/1973	0	0/6322	0	0/2274	4/78	0/6919
خطای باقیمانده	5	0		0		0		7/68	
کل	20	111/86		4/85		0/24		804/76	

منبع	درجه آزادی	قابلیت جویدن: مجموع مربعات	قابلیت جویدن: احتمال F	صمغیت: مجموع مربعات	صمغیت: احتمال F	چسبندگی: مجموع مربعات	چسبندگی: احتمال F
میانگین	1	1996/75		33/48		1136/62	
خطی	3	7/92	0/0002	0/11	0/0002	3/07	0/0001
بر هم کنش	3	1/01	0/1955	0/01	0/1955	0/18	0/5535
درجه دوم	3	2/33	<0/0001	0/03	<0/0001	0/47	0/1080
درجه سه	5	0/07	0/1973	0	0/1973	0/20	0/7639
خطای باقیمانده	5	0/03		0		0/39	
کل	20	2008/10		33/64		1140/93	

از سوی دیگر، بررسی تغییرات پیوستگی خمیر نشان می‌دهد که افزودن سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول موجب افزایش معنی‌دار آن شده است. معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) بالا و بسیار معنی‌داری (p≤0/001) برای پیشگویی آن برخوردار است. آزمون ضعف برازش آن بی‌معنی (p≤0/05)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد که نشان دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده است. بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه اول و درجه دوم (p≤0/001) بر پیوستگی خمیر موثر هستند و سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشترین تاثیر را بر افزایش پیوستگی خمیر دارد. از طرفی، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات، مجذور داتم و برهم‌کنش داتم و پروپیلن گلیکول پیوستگی خمیر را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهند که در میان آنها، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشترین تاثیر را دارد. نتایج این پژوهش با یافته‌های گذشته تایید می‌شود؛ به‌طوری که Armero و همکاران (1997) و Suhendro و همکاران (1995) نشان دادند که امولسیفایرها و پلی‌ال‌ها پیوستگی خمیر را از طریق تقویت شبکه گلوتنی افزایش می‌دهند.

رزیلینس یکی از پارامترهای استخراجی از نمودار آنالیز بافت خمیر است که به‌عنوان الاستیسیته در نظر گرفته می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که تنها مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات موجب کاهش معنی دار (p≤0/001) این پارامتر شده است و سایر منابع فاقد تاثیر معنی‌داری بر آن هستند. تاثیر سدیم استئاروئیل لاکتیلات را احتمالا می‌توان به افزایش انعطاف‌پذیری خمیر و تقویت شبکه گلوتنی نسبت داد که در سطوح کمتر از 0/5% منجر به افزایش الاستیسیته و رزیلینس می‌گردد (Krog, 1981). بررسی تغییرات این شاخص نشان می‌دهد که معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) متوسطی برای پیشگویی آن برخوردار است و این در حالی است که آزمون ضعف برازش آن بی‌معنی (p≤0/05)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد. بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه دوم (p≤0/01) بر رزیلینس خمیر موثر هستند.

بررسی تغییرات ارتجاعیت نشان داد که افزودن هیچ کدام از منابع، موجب تغییر معنی‌دار آن نشده است. Armero و همکاران (1997) نیز بیان نمودند که امولسیفایرها تاثیر خاصی بر این فاکتور ندارند.

افزودن سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول موجب کاهش معنی دار (p≤0/001) قابلیت جویدن خمیر شده است.

معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) بالا و بسیار معنی‌داری ($p\leq0/001$) برای پیشگویی آن برخوردار است. آزمون ضعف برازش آن بـی‌معنـی ($p\leq0/05$)، ضریب تغییرات و مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد که نشان‌دهنده مناسب بودن مدل ارائه شده است.

بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه اول و درجه دوم ($p\leq0/001$) بر قابلیـت جویـدن خمیـر موثر هستند و داتم بیشترین تاثیر را بر کاهش قابلیت جویـدن خمیـر دارد. از طرفی، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتـیلات، مجـذور داتـم و برهم‌کنش داتم و پروپیلن گلیکول قابلیت جویـدن خمیـر را بـه‌طـور معنی داری ($p\leq0/001$) افزایش می دهند که در میـان آنهـا، مجـذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشـترین تـاثیر را دارد. رفتـار اجـزاء ژل بهبوددهنده در ارتباط با این پارامتر مکانیکی خمیر، احتمالا به علـت همبستگی زیاد آن با سفتی خمیر می‌باشد که منجر به ارائـه تـاثیری مشابه با آن گردیده است.

بررسی تغییرات صـمغیت خمیـر نشـان داد کـه افـزودن سـدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن‌گلیکول موجب کاهش معنـی‌دار ($p\leq0/001$) آن شده است که احتمـالا بـه علـت همبسـتگی بـالای صمغیت با سفتی خمیر است. معادله حاصل از R2 و R2 (Adj) بالا و بسیار معنـی‌داری ($p\leq0/001$) بـرای پیشـگویی آن برخـوردار اسـت. آزمون ضـعف بـرازش آن بـی‌معنـی ($p\leq0/05$)، ضـریب تغییـرات و مجموع مربع‌های خطـای پـیش‌بینـی آن نیـز پـائین مـی‌باشـد کـه تائیدکننده قدرت مدل ارائه شده است.

بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله درجه اول و درجه دوم ($p\leq0/001$) بـر صـمغیت خمیـر مـوثر هستند و داتم بیشترین تـاثیر را بـر کـاهش صـمغیت خمیـر دارد. از طرفی، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات، مجذور داتم و برهم‌کنش داتم و پروپیلن‌گلیکول صمغیت خمیر را به‌طور معنی‌داری ($p\leq0/001$) افزایش می‌دهند که در میان آنها، مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات بیشترین تاثیر را دارد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر

نتایج این پژوهش در خصوص چسبندگی نشـان داد کـه سـدیم استئاروئیل لاکتیلات موجب افزایش معنی دار ($p\leq0/001$) و مجـذور آن موجب کاهش معنی دار ($p\leq0/01$) ایـن شـاخص شـده اسـت. در حالی که، سایر منابع، فاقد تاثیر معنی‌دار بر این ویژگی هستند. بررسی تغییرات این شاخص نشان می‌دهد که معادلـه حاصـل از R2 و R2 (Adj) بـالا و بسـیار معنـی‌داری ($p\leq0/001$) بـرای پیشـگویی آن برخوردار است و این در حـالی اسـت کـه آزمـون ضـعف بـرازش آن بی‌معنی ($p\leq0/05$)، ضریب تغییـرات و مجمـوع مربـع‌هـای خطـای پیش‌بینی آن نیز پائین می‌باشد.

جدول ۳- مدل‌های پیشگو برای خصوصیات مکانیکی خمیر

خصوصیات خمیر	مدل پیشگو: مدل	S	D	P	S^2	D^2	P^2	SD	SP	DP	R^2	R^2 (Adj)	احتمال F ضعف برازش	ضریب پراکندگی	مجموع مربع‌های خطای پیش‌بینی
سفتی	۲/۸۵**	-۱/۳۲**	-۱/۳۵**	-۰/۴۵**	۱/۷**	۰/۷۷**	ns	ns	-۰/۴۲*	۱/۳**	۰/۹۹۰۴	۰/۹۸۴۸	۰/۲۶۰۱	۰/۹۸	۰/۰۱۶۴
پیوستگی	۰/۴**	۰/۲۴*	۰/۲۳**	۰/۰۵*	-۰/۳۴**	-۰/۱۳*	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱*	-۰/۲۳*	۰/۹۹۴۱	۰/۹۸۸۸	۰/۶۳۲۲	۰/۷۹	۰/۰۰۰۵
رزیلینس	۰/۱**	ns	ns	ns	-۰/۱۲**	ns	ns	ns	ns	ns	۰/۷۰۱۷	۰/۶۶۶۶	۰/۵۱۹۴	۳/۸	۰/۰۰۰۴
ارتجاعیت	۶/۲۷	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	۰	۰	۰/۸۳۲۵	۱۶/۰۸	۲۱/۴
قابلیت جویدن	۱۲/۰۲**	-۵/۴۷**	-۵/۵۸**	-۱/۸۶**	۷/۰۴**	۳/۲۰**	ns	ns	-۱/۷۴*	۵/۴**	۰/۹۹۰۴	۰/۹۸۴۸	۰/۲۶۰۱	۰/۹۵	۰/۲۸۲
صمغیت	۱/۵۳**	-۰/۶۵**	-۰/۶۶**	-۰/۲۲**	۰/۸۳**	۰/۳۸**	ns	ns	-۰/۲۱*	۰/۶۴**	۰/۹۹۰۴	۰/۹۸۴۸	۰/۲۶۰۱	۰/۸۷	۰/۰۰۳۹
چسبندگی	۶/۸۶**	۴/۱۳**	ns	ns	-۳/۷۰*	ns	ns	ns	ns	ns	۰/۸۰۵۲	۰/۷۸۲۳	۰/۸۶۶۸	۲/۹۵	۱/۱۹

سدیم استئاروئیل لاکتیلات (S)، دی استیل تارتاریک استرهای مونو و دی گلیسرید (D) و پروپیلن گلیکول (P).

بدون ستاره ($p\leq0/05$)، یک ستاره ($p\leq0/01$)، دو ستاره ($p\leq0/001$)، ns در سطح ۹۵ درصد معنی دار نمی باشد.

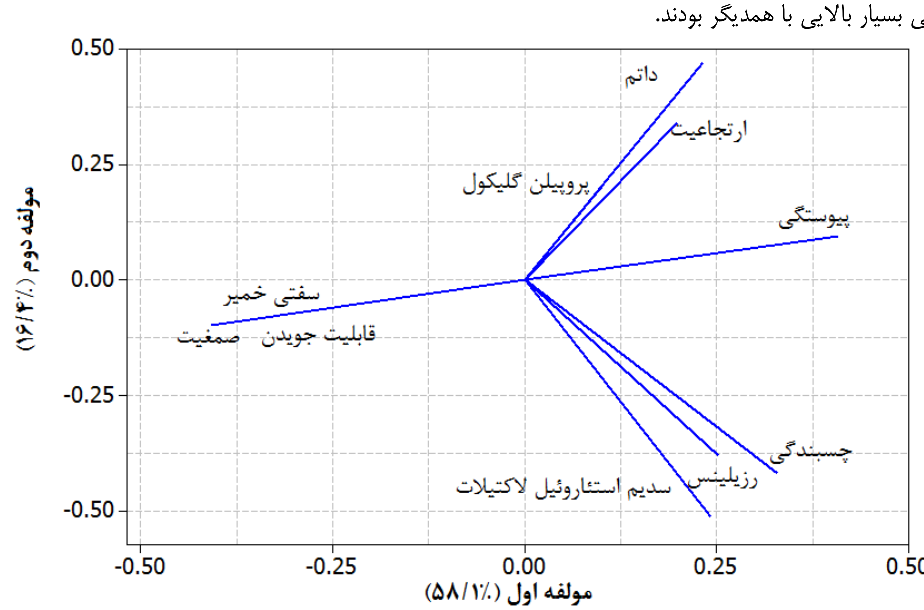
بررسی جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد که اجزاء ژل به‌صورت معادله خطی ($p\leq0/001$) بر چسبندگی خمیر موثر هستند. Armero و همکاران (1997) نشان دادند که سدیم استئاروئیل لاکتیلات، چسبندگی خمیر را افزایش می دهد. از طرفی، Dhaliwal و همکاران (1990b) بیان کردند که یکی از دلایل چسبندگی می تواند افزایش جذب آب باشد؛ بنابراین اجزای ژل بهبوددهنده در مقادیر بالاتر از 0/5%، احتمالا به علت کاهش جذب آب، چسبندگی خمیر را کاهش می‌دهند و این پدیده با معنی‌داری مجذور سدیم استئاروئیل لاکتیلات در معادله حاصل تائید می‌گردد.

داده‌های مربوط به خواص مکانیکی خمیر با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی مورد بررسی قرار گرفت (شکل 3). آنالیز چندمتغیره خواص مکانیکی خمیر، اجازه داد متغیرها به دو مولفه‌های اصلی کاهش یابند و در مجموع 74/5% از تغییرپذیری کل را شرح دهند. مولفه اول، 58/1% و مولفه دوم، 16/4% از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که در شکل 3 مشاهده می‌گردد، پیوستگی، همبستگی مثبتی با مولفه اول داشت اما پارامترهای سفتی، قابلیت جویدن و صمغیت خمیر همبستگی‌های منفی با آن داشتند. از سوی دیگر، چسبندگی و رزیلینس همبستگی مثبت اما ارتجاعیت همبستگی منفی با آن داشتند. همانطور که در شکل 3 مشخص است، سدیم استئاروئیل لاکتیلات تاثیر زیادی بر چسبندگی و رزیلینس داشت. هر چند هیچ کدام از اجزاء ژل بر پارامتر ارتجاعیت تاثیر معنی‌داری نداشتند اما همبستگی زیادی بین پروپیلن گلیکول و داتم با آن مشاهده گردید. پیوستگی خمیر نیز همبستگی مثبت و بالایی با این دو جزء ژل بهبوددهنده داشت. سفتی، قابلیت جویدن و صمغیت خمیر نیز دارای همبستگی بسیار بالایی با همدیگر بودند.

ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر، در جدول 4 گزارش شده اند. سفتی، صمغیت و قابلیت جویدن، همبستگی مثبت، بسیاربالا و معنی داری با هم داشتند اما با سایر خصوصیات مکانیکی خمیر، دارای ضرایب همبستگی منفی بودند. چسبندگی، به‌عنوان یکی از مهمترین خصوصیات مکانیکی خمیر، همبستگی مثبتی با پارامترهای پیوستگی، رزیلینس و ارتجاعیت داشت. از سوی دیگر، ضرایب همبستگی آن با پارامترهای سفتی، قابلیت جویدن و صمغیت خمیر منفی بود. نتایج بدست آمده از ضرایب همبستگی، تائیدکننده نتایج حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی می باشد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی و فارینوگرافی خمیر

ارتباط بین نتایج حاصل از آزمون‌های بافت‌سنجی و فارینوگرافی خمیر با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (شکل 4) و نیز همبستگی رگرسیونی (جدول 5) مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز چندمتغیره خواص خمیر، اجازه داد متغیرها به دو مولفه اصلی کاهش یابند و در مجموع 78/2% از تغییرپذیری کل را شرح دهند. مولفه اول، 66/3% و مولفه دوم، 11/9% از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که نمودار پراکنش در فضای مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد، هر دو مولفه اول و دوم، دارای همبستگی‌های منفی با جذب آب آرد، زمان گسترش و شاخص تحمل خمیر بودند اما با مقاومت خمیر ارتباط مستقیمی داشتند.

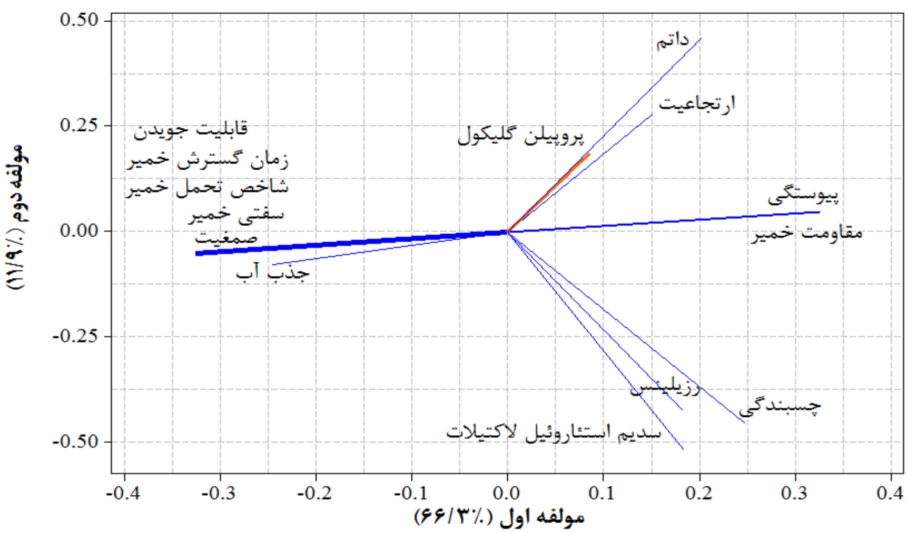


شکل 3- پراکنش خواص مکانیکی خمیر در فضای آنالیز مولفه های اصلی.

جدول 4- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر

پارامتر	سفتی	پیوستگی	رزیلینس	ارتجاعیت	قابلیت جویدن	صمغیت	چسبندگی
سفتی	1***						
پیوستگی	-0/995***	1***					
رزیلینس	-0/524*	0/527*	1***				
ارتجاعیت	-0/461*	0/465*	0/145	1***			
قابلیت جویدن	1***	-0/995***	-0/524*	-0/461*	1***		
صمغیت	1***	-0/995***	-0/524*	-0/461*	1***	1***	
چسبندگی	-0/686**	0/699**	0/695**	0/257	-0/686**	-0/686**	1***

بدون ستاره ($p \le 0/05$)، یک ستاره ($p \le 0/01$)، دو ستاره ($p \le 0/001$)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.



شکل 4- پراکنش خواص مکانیکی و فارینوگرافی خمیر در فضای آنالیز مولفه های اصلی.

جدول 5- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی و فارینوگرافی خمیر

پارامتر	جذب آب	زمان گسترش خمیر	مقاومت خمیر	شاخص تحمل
سفتی	0/686**	1***	-0/995***	1***
پیوستگی	-0/705**	-0/995***	1***	-0/995***
رزیلینس	-0/162	-0/524*	0/527*	-0/524*
ارتجاعیت	-0/149	-0/461*	0/465*	-0/461*
قابلیت جویدن	0/686**	1***	-0/995***	1***
صمغیت	0/686**	1***	-0/995***	1***
چسبندگی	-0/540*	-0/686**	0/699**	-0/686**

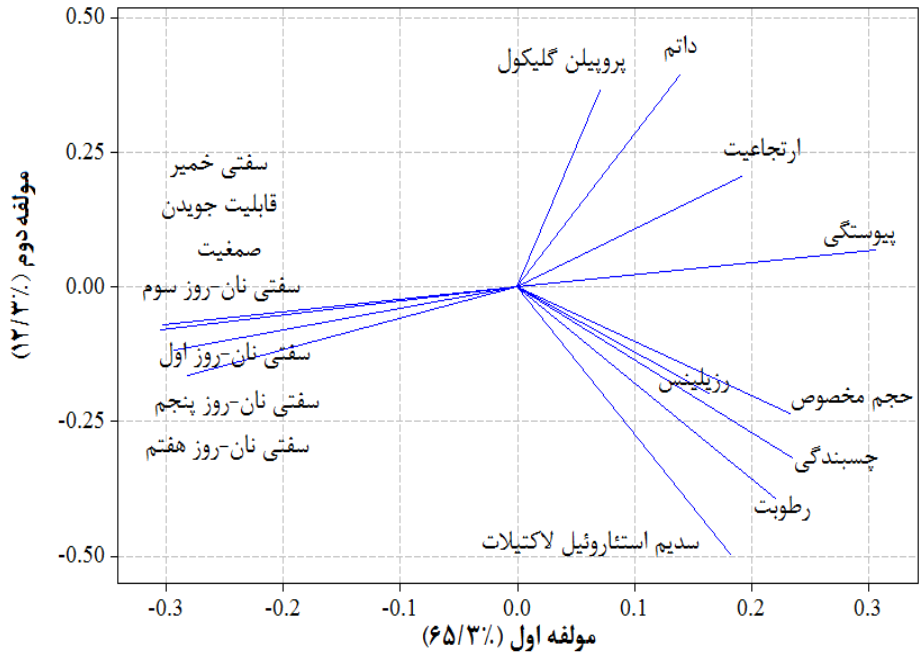
بدون ستاره ($p \le 0/05$)، یک ستاره ($p \le 0/01$)، دو ستاره ($p \le 0/001$)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.

همچنین با توجه به نتایج آنالیز مولفه هـای اصـلی و نیـز نتـایج حاصل از همبستگی رگرسیونی، ارتباط مستقیم و بسیار معنی‌دار بـین

جذب آب، شاخص تحمل، زمان گسترش، سفتی، صمغیت و قابلیت جویدن مشخص می گردد. پیوستگی خمیر ارتباط بسیار معنی‌دار و مثبتی با مقاومت خمیر داشت اما با سایر پارامترهای فارینوگرافی دارای همبستگی‌های منفی بود. چسبندگی، رزیلینس و ارتجاعیت تنها با مقاومت خمیر ارتباط مستقیم داشتند و با سایر پارامترهای فارینوگرافی همبستگی‌های منفی نشان دادند. چسبندگی خمیر اهمیت زیادی در صنایع پخت دارد که در اغلب موارد، باید آن را به حداقل رساند زیرا چسبیدن به سطوح تجهیزات ممکن است تاثیرات نامطلوبی از قبیل ایجاد فاصله در تولید، ضایعات تولید و آلودگی تجهیزات داشته باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، می توان با تنظیم میزان جذب آب آرد، تقویت خمیر و نیز کاهش میزان سدیم استئاروئیل لاکتیلات در فرمولاسیون ژل بهبوددهنده، چسبندگی خمیر را کاهش داد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات کیفی و ماندگاری نان

ارتباط بین خصوصیات حاصل از بافت‌سنجی خمیر و کیفیت و ماندگاری نان با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (شکل 5) و نیز همبستگی رگرسیونی (جدول 6) مورد بررسی قرار گرفت.



شکل 5- پراکنش خواص مکانیکی خمیر و خصوصیات کیفی و ماندگاری نان در فضای آنالیز مولفه های اصلی.

آنالیز چندمتغیره خواص خمیر و نان، متغیرها را به دو مولفه اصلی تقسیم نمود که در مجموع 77/6% از تغییرپذیری کل را شرح می‌دهند. مولفه اول، 65/3 % و مولفه دوم، 12/3 % از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که نمودار پراکنش در فضای مولفه های اصلی (شکل 5) نشان می دهد، مولفه اول تنها با حجم مخصوص و رطوبت نان، دارای ارتباط مستقیم بود و با ماندگاری نان ارتباط معکوسی داشت. مولفه دوم نیز با تمامی خصوصیات کیفی و ماندگاری نان ارتباط معکوس داشت. همچنین با توجه به نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی و نیز نتایج حاصل از همبستگی رگرسیونی می‌توان دریافت که سفتی نان در طول مدت ماندگاری، ارتباط مستقیمی با سفتی، صمغیت و قابلیت جویدن خمیر اما با سایر خصوصیات مکانیکی خمیر ارتباط غیرمستقیمی داشت. در حالی که حجم مخصوص و رطوبت نان با سفتی، صمغیت و قابلیت جویدن خمیر ارتباط معکوس و با سایر پارامترهای مکانیکی خمیر رابطه مستقیم داشت. بنابراین هرچه خمیر نرم تر و دارای پیوستگی بیشتری باشد، حجم مخصوص، رطوبت و ماندگاری نان بدست آمده بیشتر خواهد بود. افزایش مقدار سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول در فرمولاسیون ژل بهبوددهنده تا سطح بهینه، همزمان باعث بهبود خواص خمیر، کیفیت و ماندگاری نان می‌گردد. محققان زیادی ارتباط و همبستگی بین خصوصیات خمیر با کیفیت محصول نهایی را مورد بررسی قرار داده و نتایج مشابهی گزارش نموده اند (Sai Manohar *et al.*, 2002).

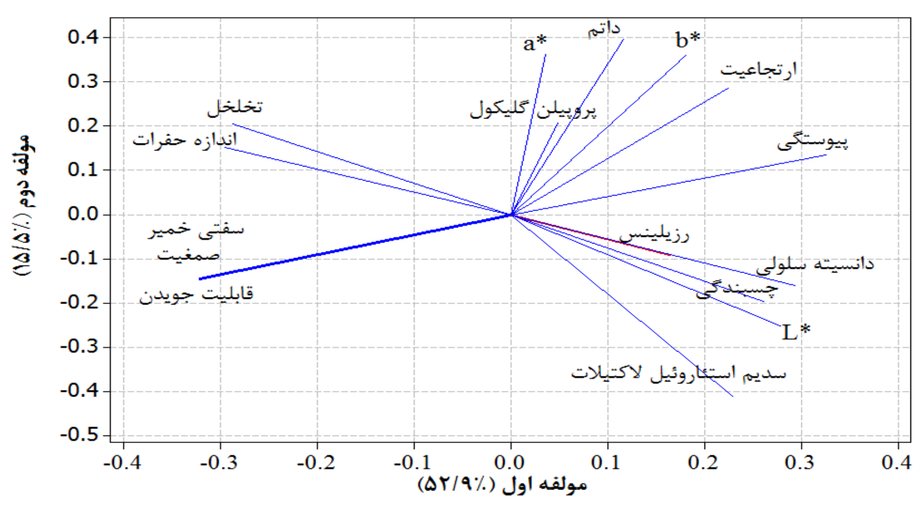
جدول 6- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات کیفی و ماندگاری نان

پارامتر	حجم مخصوص	رطوبت	سفتی (روز اول)	سفتی (روز سوم)	سفتی (روز پنجم)	سفتی (روز هفتم)
سفتی	-0/670**	-0/615**	1***	0/983***	0/901***	0/955***
پیوستگی	0/62**	0/634**	-0/995***	-0/980***	-0/904***	-0/955***
رزیلینس	0/175	0/348	-0/524*	-0/455*	-0/406	-0/426
ارتجاعیت	0/035	0/044	-0/461*	-0/454*	-0/607**	-0/440
قابلیت جویدن	-0/670**	-0/615**	1***	0/983***	0/901**	0/955***
صمغیت	-0/670**	-0/615**	1***	0/983***	0/901***	0/955***
چسبندگی	0/565**	0/681**	-0/686**	-0/682**	-0/640**	-0/585**

بدون ستاره ($p \le 0/05$)، یک ستاره ($p \le 0/01$)، دو ستاره ($p \le 0/001$)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و پردازش تصویر نان

در سالهای اخیر، به‌طور گسترده‌ای از روش پردازش تصویر به‌عنوان یک تکنیک کمی، برای ارزیابی خصوصیات پوسته و ساختار مغز نان استفاده شده است (Zghal *et al.* 2002). در این پژوهش، ارتباط بین نتایج حاصل از آزمون‌های بافت سنجی خمیر و پردازش تصویر نان با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (شکل 6) و نیز همبستگی رگرسیونی (جدول 7) مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز چندمتغیره خواص خمیر و پردازش تصویر نان، اجازه داد متغیرها به دو مولفه اصلی کاهش یابند و در مجموع 68/4 % از تغییرپذیری کل را شرح دهند. مولفه اول، 52/9% و مولفه دوم، 15/5 % از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که نمودار پراکنش در فضای مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد، مولفه اول با تخلخل و اندازه حفرات بافت نان ارتباط معکوس و با سایر پارامترهای پردازش تصویر ارتباط مستقیم داشت. مولفه دوم نیز با *L و دانسیته سلولی ارتباط منفی و با سایر پارامترهای پردازش تصویر ارتباط مستقیم داشت. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، افزایش سفتی خمیر منجر به افزایش اندازه حفرات بافت نان و در نتیجه افزایش تخلخل می‌گردد. در حالی که، تعداد حفرات در واحد سطح (دانسیته سلولی) و نیز L*a*b* کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان دریافت که سفتی خمیر هسته‌زایی لازم برای تشکیل حفرات کاهش می‌دهد و تنها حفرات موجود می‌توانند افزایش اندازه داشته باشند. کاهش مولفه *L در اثر افزایش سفتی خمیر را می‌توان به همبستگی معکوس بین سفتی خمیر و رطوبت نان (0/615-) نسبت داد که منجر به کاهش انعکاس نور از سطح نان و در نتیجه کاهش مولفه روشنایی آن می‌گردد. اثر خصوصیات پیوستگی و چسبندگی خمیر بر خصوصیات سطح و بافت نان بر عکس سفتی خمیر بود که افزایش آنها موجب کاهش اندازه حفرات و تخلخل ولی افزایش دانسیته سلولی و L*a*b* می‌گردد. از بین اجزاء تشکیل دهنده ژل بهبوددهنده، سدیم استئاروئیل لاکتیلات و سپس داتم بیشترین تاثیر را بر پارامترهای پردازش تصویر داشتند. محققان مختلفی ارتباط بین پارامترهای استخراجی از پردازش تصویر پوسته و بافت نان را با سایر خصوصیات کیفی و بافتی خمیر و نان مورد بررسی قرار داده‌اند (Farrera-Rebollo *et al.* 2012; Gonzales-Barron *et al.* 2006).



شکل 6- پراکنش خواص مکانیکی خمیر و خصوصیات بدست آمده از پردازش تصویر نان در فضای آنالیز مولفه‌های اصلی

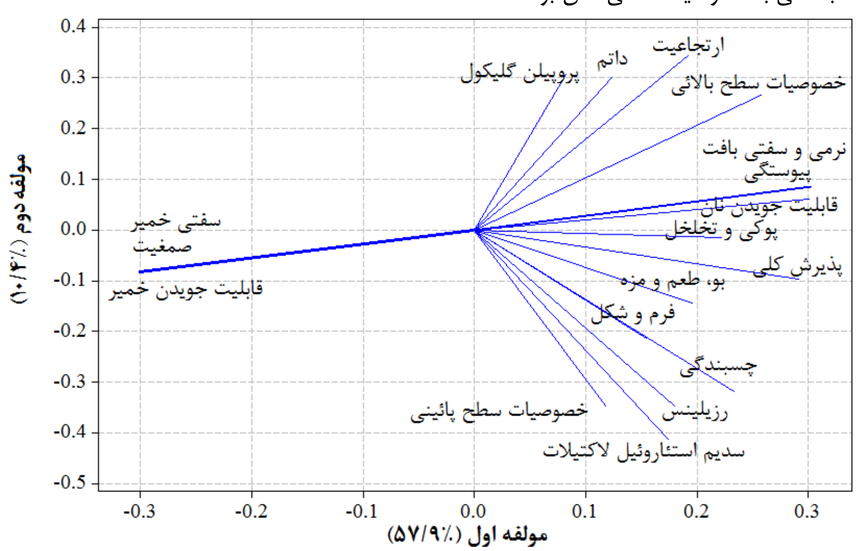
جدول 7- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات بدست آمده از پردازش تصویر نان

پارامتر	L*	a*	b*	اندازه حفرات	تخلخل	دانسیته سلولی
سفتی	-0/616**	-0/199	-0/514*	0/679**	0/647**	-0/668**
پیوستگی	0/635**	0/175	0/529*	-0/701**	-0/671**	0/686**
رزیلینس	0/347	-0/024	0/008	-0/166	-0/191	0/212
ارتجاعیت	0/044	0/356	0/377	-0/043	0/013	0/027
قابلیت جویدن	-0/616**	-0/199	-0/514*	0/679**	0/647**	-0/668**
صمغیت	-0/616**	-0/199	-0/514*	0/679**	0/647**	-0/668**
چسبندگی	0/681**	0/031	0/075	-0/562*	-0/562*	0/569**

بدون ستاره ($p \le 0/05$)، یک ستاره ($p \le 0/01$)، دو ستاره ($p \le 0/001$)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات حسی نان

ارتباط بین نتایج حاصل از آزمون‌های بافت‌سنجی خمیر و حسی نان با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (شکل 7) و نیز همبستگی رگرسیونی (جدول 8) مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز چندمتغیره خواص خمیر نشان می‌دهد که دو مولفه اصلی اول و دوم 68/3% از تغییرپذیری کل را شرح دهند. مولفه اول، 57/9% و مولفه دوم، 10/4% از تغییرپذیری کل را محاسبه می‌نمایند. همانطور که نمودار پراکنش در فضای مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد، مولفه اول با تمامی خصوصیات حسی نان، ارتباط مستقیم داشت. مولفه دوم نیز با خصوصیات سطح بالائی، نرمی و سفتی بافت و قابلیت جویدن نان ارتباط مستقیم و با سایر خصوصیات حسی، ارتباط معکوس داشت. از میان خصوصیات مکانیکی خمیر، سفتی و پیوستگی دارای بیشترین و معنی‌دارترین ضرایب همبستگی با خصوصیات حسی نان بودند اما رزیلینس و ارتجاعیت خمیر کمترین ضرایب مربوطه (جدول 8) را داشتند. هر چند صمغیت و قابلیت جویدن نیز روندی مشابه سفتی داشتند اما نحوه محاسبه این دو پارامتر، متاثر از پارامتر سفتی بود. بنابراین با کاهش سفتی خمیر و نیز افزایش پیوستگی آن می‌توان خصوصیات حسی نان را بهبود بخشید. از میان خصوصیات حسی نان، نرمی و سفتی نان بیشترین و فرم و شکل و خصوصیات سطح پائینی، کمترین ضرایب همبستگی را با خصوصیات مکانیکی خمیر داشتند. از میان اجزای تشکیل‌دهنده، داتم و سپس سدیم استاروئیل لاکتیلات بیشترین تاثیر را بر خصوصیات حسی نان داشتند. Azizi و همکاران (2005) نیز گزارش نمودند که داتم نسبت به سدیم استئاروئیل لاکتیلات تاثیر بیشتری بر پذیرش کلی نان دارد.Armero و همکاران (1997) نیز همبستگی بین خصوصیات حسی مغز نان و صمغیت خمیر را مورد بررسی قرار دادند.



شکل 7- پراکنش خواص مکانیکی خمیر و خصوصیات حسی در فضای آنالیز مولفه‌های اصلی.

جدول 8- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و خصوصیات حسی نان

پارامتر	فرم و شکل	خصوصیات سطح بالایی	خصوصیات سطح پائینی	پوکی و تخلخل	سفتی و نرمی بافت	قابلیت جویدن	بو، طعم و مزه	پذیرش کلی
سفتی	-0/375	-0/786***	-0/333	-0/658**	-0/995***	-0/984***	-0/509*	-0/870***
پیوستگی	0/388	0/799***	0/303	0/679**	1***	0/988***	0/514*	0/875***
رزیلینس	0/337	0/178	0/523*	0/223	0/527*	0/551*	0/285	0/547*
ارتجاعیت	0/200	0/334	0/074	-0/016	0/465*	0/411	-0/100	0/305
قابلیت جویدن	-0/375	-0/786***	-0/333	-0/658**	-0/995***	-0/984***	-0/509*	-0/870***
صمغیت	-0/375	-0/786***	-0/333	-0/658**	-0/995***	-0/984***	-0/509*	-0/870***
چسبندگی	0/416	0/481*	0/254	0/580**	0/699**	0/687**	0/377	0/669**

بدون ستاره ($p \le 0/05$)، یک ستاره ($p \le 0/01$)، دو ستاره ($p \le 0/001$)، ns در سطح 95 درصد معنی دار نمی باشد.

همبستگی بین خصوصیات مکانیکی خمیر و سایر خصوصیات خمیر و نان با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی

تکنیک‌های چندمتغیره می‌توانند به‌طور موثری برای بررسی ارتباطات بین داده‌های مختلفی به‌کار روند. روش‌های آماری می‌توانند متقارن یا غیرمتقارن باشند (Dijksterhuis, 1994). روش‌های متقارن مانند روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی معمولا می‌توانند یکسری از داده‌ها را از سایر داده‌ها پیشگویی نمایند؛ در حالی که روش‌های نامتقارن مانند آنالیز مولفه‌های اصلی به آسانی می‌توانند ارتباط بین داده‌های مختلف را توصیف نمایند (Martens *et al.* 2001). در این پژوهش، از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی برای بررسی ارتباط بین داده‌های مکانیکی خمیر (X) و سایر خصوصیات خمیر، کیفیت و ماندگاری نان (Y) استفاده گردید. پیشگویی خصوصیات فارینوگرافی خمیر، خصوصیات کیفی، حسی، تصویری و ماندگاری نان با استفاده از خصوصیات مکانیکی خمیر، اهمیت زیادی در صنایع غذایی داشته و اطلاعات زیادی در خصوص پذیرش، کیفیت و ماندگاری نهایی محصول در اختیار ما می‌گذارد. بعلاوه، تعیین کیفیت و ماندگاری نان توسط ارزیابی مکانیکی خمیر مزایای زیادی از قبیل تکرارپذیری و راحتی دارد. بدین منظور، پنج خصوصیت بدست آمده از ارزیابی مکانیکی خمیر شامل سفتی، پیوستگی، رزیلینس، ارتجاعیت و چسبندگی خمیر به‌عنوان پارامترهای پیشگویی‌کننده مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول 9 مدل‌های آماری دارای ضرایب همبستگی متوسط به بالا گزارش شده‌اند که با استفاده از خواص مکانیکی خمیر قادر به پیشگویی خصوصیات خمیر و نان هستند.

همانطور که مشاهده می‌گردد، ضرایب همبستگی اغلب مدل‌های بدست آمده، بالاتر از حد متوسط است که کارایی این مدل‌ها را در ایجاد ارتباط بین خصوصیات مربوطه را نشان می‌دهد

بهینه‌سازی

به‌منظور بهینه‌سازی فرمولاسیون و فرآیند تولید ژل بهبوددهنده برای خواص مکانیکی خمیر نان بربری، حد بالا، پائین و مطلوب هر یک از صفات و وزن و اهمیت آنها تعیین شد. لذا در محاسبات مربوطه، سفتی و چسبندگی خمیر، کمینه؛ پیوستگی، رزیلینس و ارتجاعیت، بیشینه؛ صمغیت وقابلیت جویدن، میانه در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که از اختلاط 0/5 g/100g سدیم استئاروئیل لاکتیلات، 0/5 g/100g داتم و 0/5 g/100g پروپیلن گلیکول بهترین حالت حاصل می‌شود. در این شرایط سفتی خمیر، 2/15 نیوتن؛ پیوستگی خمیر، 0/53؛ قابلیت جویدن خمیر، 9/12 نیوتن؛ ارتجاعیت خمیر، 6/27؛ رزیلینس خمیر، 0/11؛ صمغیت خمیر، 1/19 نیوتن؛ چسبندگی خمیر، 7/99 نیوتن بر میلی‌متر مربع خواهد بود. به‌منظور بررسی صحت ترکیب ژل بهینه‌سازی شده، تیمار پیشنهادی با شرایط یکسان همانند بقیه تیمارها تولید و نتایج حاصل از ارزیابی خواص خمیر با نتایج پیشگویی شده توسط مدل مقایسه گردید. عدم وجود تفاوت معنی‌دار ($p \le 0/05$) بین مدل‌ها و مشاهدات تجربی کارایی مدلها را به‌خوبی اثبات می‌کند (نتایج آورده نشده است) که در تولید صنعتی می‌توان از آنها استفاده کرد.

جدول 9- مدل‌های رگرسیونی حداقل مربعات جزئی (PLSR) برای خصوصیات خمیر و نان بربری به‌عنوان تابعی از خصوصیات مکانیکی خمیر

خصوصیات مورد بررسی	مدل های رگرسیونی	R^2
جذب آب آرد	Y = 109/091 – 8/319 A – 68/001 B + 74/640 C + 0/289 D – 0/791 E	68/4
زمان گسترش خمیر	Y = 3/560 A - B + C + D - E	99/9
مقاومت خمیر	Y = - A + 36/680 B - C + D + E	99/9
شاخص تحمل	Y = 31/972 A + B + C + D - E	99/9
حجم مخصوص	Y = - 7/193 + 2/052 A + 15/820 B – 15/733 C – 0/0897 D + 0/187 E	75/1
رطوبت	Y = -21/066 + 7/712 A + 56/696 B- 49/788 C – 0/374 D + 1/511 E	63/4
سفتی (روز اول)	Y = 0/830 A + B + C + D - E	99/9
سفتی (روز سوم)	Y = 0/356 + 0/791 A – 0/476B+ 2/960 C + 0/0015 D - 0/0324 E	97/4
سفتی (روز پنجم)	Y = 3/044 + 0/317 A – 2/612 B+ 3/488 C – 0/0467 D- 0/0559 E	87/1
سفتی (روز هفتم)	Y = 3/020 + 0/416 A – 4/354 B + 1/691 C + 0/00483 D + 0/0559 E	92/8
L*	Y = -46/670 + 17/058 A + 125/383 B – 110/087 C – 0/826 D + 3/332 E	63/5
اندازه حفرات	Y = 1/780 – 0/223 A – 1/716 B + 1/702 C + 0/00938 D – 0/0191 E	76/7
تخلخل	Y = 0/0772 – 0/00985 A – 0/0730 B+ 0/0631 C + 0/000431 D- 0/000788 E	74/3
دانسیته سلولی	Y = -59/249 + 16/568 A + 142/032 B – 153/055 C – 0/993 D + 2/00537 E	70/3
خصوصیات سطح بالایی	Y = 0/0667 + 0/678 A + 7/0936 B – 7/004 C – 0/0121 D + 0/0168 E	73/6
پوکی و تخلخل	Y = -5/913 + 1/741 A + 13/599 B – 12/296 C – 0/0913 D + 0/169 E	73/6
سفتی و نرمی بافت	Y = A + 8/608 B + C + D - E	99/9
قابلیت جویدن	Y = -0/119 + 0/0346 A + 7/702 B + 2/142 C – 0/0156 D – 0/029 E	98/2
پذیرش کلی	Y = 1/685+ 0/0316 A + 4/189 B + 1/974 C – 0/0196 D + 0/0166 E	78/6

A : سفتی خمیر؛ B :پیوستگی خمیر؛ C : رزیلینس خمیر؛ D : ارتجاعیت خمیر و E : چسبندگی خمیر است.

نتیجه‌گیری

آنالیز رویه پاسخ مربوط به طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر با سه متغیر مستقل شامل سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول به‌عنوان اجزاء ژل بهبوددهنده، پاسخ‌ها شامل پارامترهای مکانیکی خمیر نان بربری و به‌منظور بهینه‌سازی خصوصیات مذکور به انجام رسید. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بودند که متدولوژی رویه پاسخ را می‌توان به خوبی در بهینه‌سازی این خصوصیات به‌کار برد.

چسبندگی خمیر با افزایش سدیم استئاروئیل لاکتیلات، افزایش یافت اما همانند رزیلینس، با مجذور آن کاهش یافت. سفتی، قابلیت جویدن و صمغیت خمیر با افزایش سدیم استئاروئیل لاکتیلات، داتم و پروپیلن گلیکول کاهش یافتند و از طرفی، تحت تاثیر برهم‌کنش آنها نیز قرار گرفتند. از سویی، پیوستگی خمیر با افزایش هر سه جزء تشکیل‌دهنده ژل، افزایش یافت و تحت تاثیر برهم‌کنش آنها نیز قرار گرفت.

مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش از R^2 و R^2(adj) متوسط به بالا و معنی‌داری برخوردار هستند. همچنین آزمون ضعف برازش آنها بی‌معنی و ضریب تغییرات آنها نیز پائین می‌باشد که نشان‌دهنده کارایی مدل‌های ارائه شده در پیش‌بینی پارامترهای مورد ارزیابی است. با استفاده از این مدل‌ها از سویی می‌توان با توجه به هدف و کاربرد ژل، ترکیبات آن را فرموله و تنظیم نمود و از طرفی می‌توان با توجه به ترکیب اجزاء ژل تولید شده، خصوصیات مورد نظر را پیش‌بینی و اصلاح نمود.

همچنین آنالیز مولفه‌های اصلی ثابت نمود که قادر به استخراج اطلاعات مناسبی است و می‌تواند به‌عنوان یک روش آسان برای تحلیل و تفسیر خواص مکانیکی خمیر مورد استفاده قرار گیرد. ارتباط بین خصوصیات فارینوگرافی خمیر، خصوصیات کیفی، حسی، تصویری و ماندگاری نان با خصوصیات مکانیکی خمیر با استفاده از روش رگرسیونی حداقل مربعات جزئی، اهمیت زیادی در صنایع غذایی داشته و اطلاعات مفیدی در خصوص پذیرش، کیفیت و ماندگاری نهایی محصول در اختیار ما می‌گذارد.

منابع

AACC (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. vol. Vol. 2. . St. Paul, MN: A*merican Association of Cereal Chemists*.

Angioloni, A., & Collar, C. (2011). Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads. LWT-*Food Science and Technology*, 44(3), 747-758.

Armero, E., & Collar, C. (1997). Texture properties of formulated wheat doughs Relationships with dough and bread technological quality. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A, 204(2), 136-145.

Azizi, M., & Rao, G. (2005). Effect of storage of surfactant gels on the bread making quality of wheat flour. *Food Chemistry*, 89(1), 133-138.

Bárcenas, M. E., & Rosell, C. M. (2006). Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures and HPMC addition. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 92-99.

Dhaliwal, A., & MacRitchie, F. (1990a). Contributions of protein fractions to dough handling properties of wheat-rye translocation cultivars. *Journal of Cereal Science*, 12(2), 113-122.

Dhaliwal, A., Mares, D., & Marshall, D. (1990b). Measurement of dough surface stickiness associated with the 1B/1R chromosome translocation in bread wheats. *Journal of Cereal Science*, 12(2), 165-175.

Dijksterhuis, G. (1994). Procrustes analysis in studying sensory-instrumental relations. *Food quality and preference*, 5(1), 115-120.

Dreese, P., Faubion, J., & Hoseney, R. (1988). Dynamic rheological properties of flour, gluten, and gluten-starch doughs. I. Temperature-dependent changes during heating. *Cereal chemistry*, 65(4), 348-353.

Farrera-Rebollo, R. R., de la Paz Salgado-Cruz, M., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G. F., Alamilla-Beltrán, L., & Calderón-Domínguez, G. (2012). Evaluation of image analysis tools for characterization of sweet bread crumb structure. *Food and Bioprocess Technology*, 5(2), 474-484.

Gliemmo, M. F., Campos, C. A., & Gerschenson, L. N. (2006). Effect of several humectants and potassium sorbate on the growth of Zygosaccharomyces bailii in model aqueous systems resembling low sugar products. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 761-770.

Gonzales-Barron, U., & Butler, F. (2006). A comparison of seven thresholding techniques with the k-means clustering algorithm for measurement of bread-crumb features by digital image analysis. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 268-278.

Heddleson, S., Hamann, D., & Lineback, D. (1993). The Dahlquist criterion: applicability of a rheological criterion to the loss of pressure-sensitive tack in flour-water dough. *Cereal chemistry*.

Howard, N. (1972). role of some essential ingredients in the formation of layer cake structures. Bakers digest.

Kamel, B., & Ponte Jr, J. (1993). Emulsifiers in baking. *Advances in baking technology* (pp. 179-222): Springer.

Knightly, W. H. (1981). Shortening Systems: Fats, Oils, and Surface-Active Agents—Present and Future1. *Cereal chemistry*, 58(3), 171-174.

Krog, N. (1981). Theoretical aspects of surfactants in relation to their use in breadmaking. *Cereal chemistry*, 58(3), 158-164.

Krog, N. J., & Sparso, F. V. (1997). Food emulsifiers and their chemical and physical properties. In: S. Friberg, & K. Larsson, Food Emulsions: *Marcel Dekker Inc*.: New York.

Lombard, G., Weinert, I., Minnaar, A., & Taylor, J. (2000). Preservation of South African steamed bread using hurdle technology. LWT-*Food Science and Technology*, 33(2), 138-143.

Maleki, M., Vetter, J. L., & Hoover, W. J. (1981). The effect of emulsifiers, sugar, shortening and soya flour on the staling of barbari flat bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32(12), 1209-1212.

Martens, H., & Martens, M. (2001). Analysis of two data tables X and Y: Partial Least Squares Regression (PLSR). Multivariate Analysis of Quality: An Introduction (pp. 111-125). London, UK: J. *Wiley & Sons* Ltd.

Martin, D., & Stewart, B. (1991). Contrasting dough surface properties of selected wheats. *Cereal foods world*, 36(6), 502–504.

Navickis, L., Anderson, R., Bagley, E. B., & Jasberg, B. (1982). Viscoelastic properties of wheat flour doughs: Variation of dynamic moduli with water and protein content. *Journal of Texture Studies*, 13(2), 249-264.

Potgieter, J. (1992). Emulsifiers for bakery. *Food Review*, 18, 23-23.

Pourfarzad, A., Khodaparast, M. H. H., Karimi, M., Mortazavi, S. A., Davoodi, M. G., Sourki, A. H., & Razavizadegan Jahromi, S. H. (2011). Effect of polyols on shelf-life and quality of flat bread fortified with soy flour. *Journal of Food Process Engineering*, 34(5), 1435-1448.

Pourfarzad, A., Haddad Khodaparast, M., Karimi, M., & Mortazavi, S. (2011). Use of response surface methodology for investigation the effect of gel improver components on the stickiness of Barbari bread dough. *Journal of Food Research*, 21(2), 257-268.

Pourfarzad, A., Mohebbi, M., & Mazaheri-Tehrani, M. (2012). Interrelationship between image, dough and Barbari bread characteristics; use of image analysis to predict rheology, quality and shelf life. *International journal of food science & technology*, 47(7), 1354-1360.

Pourfarzad, A., Haddad Khodaparast, M. H., Karimi, M., & Mortazavi, S. A. (2013). Study on the Effect of Gel Improver Components on Properties of Barbari Bread Fortified with Soy Flour Using Image Processing Techniques. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9(4), 285-294.

Rajabzadeh, N. (1991). Iranian Flat Breads Evaluation. Tehran, Iran: Iranian Cereal and Bread Research Institute.

Ram, B. P., & Nigam, S. N. (1983). Texturometer as a tool for studying varietal differences in wheat flour doughs and gluten proteins. *Journal of Texture Studies*, 14(3), 245-249.

Rosell, C. M., Rojas, J. A., & de Barber, C. B. (2001). Combined effect of different antistaling agents on the pasting properties of wheat flour. *European Food Research and Technology*, 212(4), 473-476.

Sai Manohar, R., & Haridas Rao, P. (2002). Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International*, 35(9), 807-813.

Silva, R. (2000). Uses of alpha-crystalline emulsifiers in the sweet goods industry. *Cereal foods world*, 45(9), 405-411.

Suhendro, E., Waniska, R., Rooney, L., & Gomez, M. (1995). Effects of polyols on the processing and qualities of wheat tortillas. *Cereal chemistry*, 72(1), 122-127.

Zghal, M., Scanlon, M., & Sapirstein, H. (2002). Cellular structure of bread crumb and its influence on mechanical properties. *Journal of Cereal Science*, 36(2), 167-176.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 663-679

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 679-663

Use of dough mechanical properties in the prediction rheology of dough, quality, sensory, shelf life and microstructure of bread: investigation by asymmetric and symmetric multivariate methods

A. Pourfarzad[1*], M. Karimi[2], Z. Ahmadian[3], S. Hejri-Zarifi[4], S. Gheibi[1]

Received: 2016.02.03
Accepted: 2016.04.23

Introduction: Flat breads are the main dietary staple in many Middle Eastern and North African countries. In today's demanding world, the use of bread improvers has become an indispensable part of enhancing the quality of bakery products. Bread improvers are technically sophisticated blends of functional ingredients, which if formulated correctly, will enhance the development of dough structure, facilitate trouble-free production, and provide the desired result of consistent products having optimal quality at the lowest possible cost. Among the functional food additives, polyols have been increasingly used to improve the quality and shelf life of bread. Polyols have been used successfully to extend the shelf life of ready to eat bread used by the military, Barbari bread fortified with soy flour, as well as flour tortillas. Emulsifiers, a subset of surfactants, have been widely used by the baking industry. The function of surfactants, as crumb softening agents, is closely related to their interaction or complex formation with starch, particularly the linear amylose fraction, to retard bread staling. Surfactants, such as SSL and DATEM that are the most efficient in breadmaking are able to form lamellar mesophases or gel structures in water. It has been shown that for polar lipids the lamellar liquid-crystalline phase is the most effective form in which this component can be added to bread dough in order to improve loaf volume. Mechanical properties of dough play an important role in baking industries. In a few cases, it can be desirable, for example, to fix some ingredients on bakery products. The dough is expected not to stick to metal surfaces and to show a good resistance to vibration and mechanical shock to minimize detrimental effects such as process breakdown, production loss and contamination of the equipment. Thus, the present study was designed: (a) to examine the effects of different emulsifiers (sodium stearoyl-2-lactylate and diacetyl tartaric acid esters of monoglycerides) and polyol (propylene glycol) on Barbari flat bread performance when used singly and in combination at different levels; (b) to obtain the relationship between mechanical and rheological properties of dough and quality, shelf life, sensory and image parameters of bread using the asymmetric methods (response surface methodology and partial least squares regression) and symmetric methods (coefficients of determination and Principal components analysis) and (c) to determine the optimum formulations for Barbari flat bread improver.

Materials and methods: Commercial *Triticum aestivum* wheat flour (locally named Setareh) was procured from the AceeArd Co., Khorasan, Iran. Propylene glycol (PG) was purchased from J.T. Baker Chemical Company (Phillipsburg, NJ). Sodium stearoyl-2-lactylate (SSL) and diacetyl tartaric acid esters of monoglycerides (DATEMs) were provided by Vista Tejarat Company (Tehran, Iran). Moisture, ash, fat, protein, wet gluten and falling number were determined according to standard AACC methods. Three replications were taken for each characteristic. Gel samples were prepared using sodium stearoyl-2-lactylate (SSL), diacetyl tartaric acid esters of monoglyceride (DATEM) and propylene glycol (PG) in the range of 0-0.5 g/100g. Bread making was carried out according to the method of Maleki et al. (1981). Quality analysis of fresh bread samples was carried out by measuring specific volume. Sensory attributes of bread were selected according to the Iranian flat bread evaluation method, including bread form and shape; upper surface property; bottom surface property; cavity and porosity; firmness and softness of texture; chewiness; odor, flavor and taste and overall quality score. Staling phenomenon and its changes were evaluated by penetration test after 1 hour, 3, 5 and 7 days. The

1. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
2. Associate Professor, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, Mashhad, Iran
3. Ph.D. Student, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran.
4. M.Sc. Student, Department of Nutrition, School of Medicine, Mashhad University of Medical Sciences.
(*Corresponding Author Email: amir.pourfarzad@gmail.com)

average values of L*, a*and b* colors describing the outer crust regions were obtained. The crumb grain features were the mean cell area, porosity, and cell density. A central composite design was constructed using the software Design Expert Version and was used for sampling of different combination of gel constituents. In addition, Lack of fit, coefficients of determination (R^2), adj-R^2, coefficient of variation (CV) and significant probabilities were calculated to check the model adequacy. Multivariate correlation matrix, coefficients of determination and principal components analysis were performed by using Minitab 15 software.

Results and Discussion: The characteristics of the flour are in the range of typical values of medium strong flour, suitable for Iranian Barbari flat bread. The results showed dough adhesiveness was increased by SSL addition but it was decreased by quadratic effect of SSL like as resilience. All of three components to the gel formula caused decrement in the hardness, gumminess and chewiness. But the interaction of them influenced on them. On the other hand, although cohesiveness increased by addition of all components but influenced significantly by interaction of them. Dough mechanical properties were furthermore correlated with dough farinographic aspects, quality, sensory parameters, image processing and shelf life of bread. It was proved that principal components analysis (PCA) is able to extract relevant information and offer an easy and promising approach for the interpretation of dough mechanical properties and its correlation with other properties and dough and bread. Partial least squares regression (PLSR) models were applied to determine the relationships between dough mechanical properties and dough farinographic properties, bread quality, sensory, image processing and shelf life aspects. Results from statistical analysis suggest that the mechanical parameters of dough are capable in predicting more than 50% of dough and bread properties.

Keywords: Central composite design, Coefficients of determination, Principal component analysis, Partial least squares regression, Texture analysis of dough.